



TESIS -SF142502

**KEMUNGKINAN PEMANFAATAN PIPA PDAM SEBAGAI
SALURAN TRANSMISI WI-FI PADA FREKUENSI 2,4 GHz :
POSISI *FEEDING* ANTENA *MONOPOLE***

ANDI SRIRAHAYU
NRP 1113201045

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.
Dr. Melania Suweni Muntini, MT.

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN FISIKA OPTOELEKTRONIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



TESIS -SF142502

**THE POSSIBILITY OF UTILIZATION PDAM's
PIPELINE FOR WI-FI TRANSMISSION CHANNEL AT
A FREQUENCY 2,4 GHz: FEEDING POSITION OF
MONOPOLE ANTENNA**

ANDI SRIRAHAYU
NRP 1113201045

SUPERVISOR
Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.
Dr. Melania Suweni Muntini, MT.

MAGISTER PROGRAM
STUDY ON OPTOELECTRONICS SCIENCES
DEPARTEMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECNOLOGY
SURABAYA
2015

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)**

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

Andi Srirahayu

Nrp. 1113201045


Tanggal Ujian : 24 Juni 2015

Periode Wisuda : September 2015

Disetujui oleh:

1. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.

NIP: 19690904 199203.1.003


(Pembimbing I)

2. Dr. Melania Suweni Muntini, MT.

NIP: 19641229 199002.2.001


(Pembimbing II)

3. Prof. Mahmud Zaki

NIP: -


(Penguji I)

4. Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si.

NIP: 19750205.199903.1.004


(Penguji II)

Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.

NIP. 19640405 199002 1 001



KEMUNGKINAN PEMANFAATAN PIPA PDAM SEBAGAI SALURAN TRANSMISI WI-FI PADA FREKUENSI 2,4 GHz : POSISI *FEEDING* ANTENA *MONOPOLE*

Nama : Andi Srirahayu
NRP : 1113201045
Pembimbing: 1. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.
2. Dr. Melania Suweni Muntini, MT.

ABSTRAK

Kemungkinan pemanfaatan pipa PDAM sebagai saluran transmisi Wi-Fi pada frekuensi 2,4 GHz telah diteliti dengan parameter : posisi *feeding* antenna *monopole*. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sistem pemancar dan penerima Wi-Fi yang ada di laboratorium Optoelektronika dan Antena Jurusan Fisika FMIPA ITS. Metode pengukuran terhadap daya terima adalah berdasarkan *feeding* antenna pada pipa yaitu pada posisi horisontal dan posisi vertikal. Posisi horisontal diharapkan gelombang elektromagnetik dalam pipa silinder bermode TM sedangkan posisi vertikal bermode TE. Antena *monopole* dibuat dari bahan tembaga berdiameter 2,25 mm dengan panjang 3,12 cm yang disolder pada ujung dalam konektor *N-female*. Pipa besi yang digunakan sebagai pandu gelombang silinder berdiameter 10,86 cm, panjang 6 m dengan tebal 0,25 cm.

Hasil pengukuran daya rata-rata pada antenna penerima tanpa pipa berjarak 6 m sebesar 51,2 dB untuk arah horisontal dan 48,5 dB untuk arah vertikal. Hasil pengukuran dengan menggunakan pipa kosong berjarak 6 m sebesar 71,8 dB untuk arah horisontal dan 78,5 dB untuk arah vertikal, sedangkan pengukuran daya terima antenna menggunakan pandu pipa berisi air (dielektrik) berjarak 6 m sebesar 20,9 dB untuk arah horisontal dan 42,2 dB untuk arah vertikal. Rugi daya untuk tanpa pipa sebesar 48,8 dB untuk arah horisontal dan 51,5 dB untuk arah vertikal, sedangkan rugi daya dengan menggunakan pipa berisi air sebesar 50,9 dB untuk arah horisontal dan 36,3 dB untuk arah vertikal.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa daya yang diterima dengan menggunakan *feeding antenna monopole* secara vertikal pada pandu gelombang silinder yang berisi dielektrik lebih besar dari *feeding antenna monopole* secara horisontal. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa prototipe pipa PDAM dapat diterapkan sebagai saluran transmisi Wi-Fi dengan posisi *feeding antenna monopole* secara vertikal.

Kata kunci: daya terima, *feeding antenna monopole*, pandu gelombang silinder, sangkar faraday, Wi-Fi .

THE POSSIBILITY OF UTILIZATION PDAM's METAL PIPE FOR WI-FI TRANSMISSION LINE AT A FREQUENCY 2,4 GHz: FEEDING POSITION OF MONOPOLE ANTENNA

By : Andi Srirahayu
Student Identity Number : 1113 201 045
Supervisor : 1. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng.
2. Dr. Melania Suweni Muntini, M.T.

ABSTRACT

The possibility of utilizing PDAM's metal pipe for Wi-Fi transmission line at a frequency of 2.4 GHz has been investigated by using a monopole antenna with two differences of feeding point. This research is conducted in the laboratory of Optoelectronics and antennas, Department of Physics, Institut of Technology Sepuluh Nopember ITS Surabaya. Measurement of power received is based on the position of feeding point of transmitter antenna which configured at the vertical position (TE mode) and horizontal position (TM mode). Both of monopole antenna structures are made from a copper wire with a diameter of 2.25 mm and a length of 3.12 cm, which is soldered to the inner ends of the N-female connector. We assume that PDAM's metal pipe can be represented by a cylindrical waveguide with diameter of 10.86 cm, a length of 6 m and a thickness of 0.25 cm.

The results show that the power received in air (without pipe) at a distance of 6 m are about 48.5 dB and 51.2 dB for TE and TM mode, respectively. The results show that the power received in pipe at a distance of 6 m are about 78.5 dB and 71.8 dB for TE and TM mode, respectively. The results show that using pipe containing water (dielectric) at a distance of 6 m are about 42.2 dB and 20.9 dB for TE and TM mode, respectively. The power loss are 48,8 dB and 51,5 dB for TM and TE Mode (without pipe), respectively while are 50,9 dB and 33,6 dB for TM and TE Mode (using pipe containing water), respectively.

The measurement results shown that the power received by using of the vertically feeding antenna monopole position on a cylinder waveguide containing dielectric is greater than horizontally. Based on these results, it can be concluded that the PDAM's pipe prototype can be applied as the transmission line Wi-Fi with a vertically feeding antenna monopole position.

Keywords: power receiver, antenna feeding's monopole, cylinder waveguide, sangkar faraday, wi-fi,

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur bagi Ya Rabb Allah SWT atas segala rahmat, taufik, dan hidayahNya serta sholawat serta salam kepada Rasullulah Muhammad SAW. *Alhamdulillah* penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul **“Kemungkinan Pemanfaatan Pipa PDAM Sebagai Saluran Transmisi Wi-Fi Pada Frekuensi 2,4 GHz : Posisi *Feeding Antena Monopole*”**.

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat akademik mencapai gelar Magister Sains (M.Si) di Program Studi Magister Bidang Keahlian Optoelektronika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulisan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik atas bimbingan, arahan dan dorongan moral maupun bantuan material berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ayahanda Andi Muh. Ali dan ibunda Andi Maryam tersayang yang selalu memberikan doa restu, cinta, dan dukungan moral tiada henti kepada penulis.
2. Saudara-saudara (kak Asma, kak Neny, kak Ippank, kak Iwan, Iccank, Ilo dan Ani), Ipar (kak Wisnu dan k adri) serta keponakanku tercinta (Rifka, Putri, Khalila dan Rizky) yang telah memotivasi dan mendo'akan penulis.
3. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng. dan Ibu Dr. Melania Suweni Muntini, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan ilmu sehingga terselesaikannya tesis ini.
4. Bapak Prof. Mahmud Zaki dan Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan motivasi dan wawasan ilmu kepada penulis.
5. Pihak Dirjen Dikti yang telah memberikan beasiswa dan fasilitas lainnya kepada penulis melalui program Beasiswa Pra S2-Saintek 2012 dan Beasiswa BPPDN 2013.
6. Bapak Gofar, laboran Optik yang telah memberikan dorongan dan waktunya untuk menemani keluarga Optik diskusi dan mengambil data.
7. Keluarga *Optik* (Mba Fahmi, Bu Yani, Rohim, Bu Mutmainnah, dan Pak Asnawi) dan Tim pipa PDAM (kk Helga, Anti dan Keiza) serta Tim TiO_2

(Mbak Riska, iccang, Ivan dan Hadi) yang memberikan warna bagi hidup penulis bersama-sama berjuang pantang menyerah menyelesaikan tesis Antena.

8. Keluarga Besar RADAR, RUDAL dan R6 (Asra, Uni, Winda, kk yoz, kk madi, kk Ichzan, kk Ummu, Nurul, Iccang, Zul, Aan dan ade paling kundang “Syafrans”), kk Maman serta teman-teman di IKAMI Surabaya, kalian mampu memberikan warna dan peringan saat jenuh.
9. Sahabatku Mutmainnah, Ummi Royyan, dan CC&B, Adi yang telah memberikan motivasi untuk jangan pernah menyerah.
10. Rekan-rekan Laboratorium Instrumentasi (Okta, mas Adi dll), Pra S2-Saintek Angkatan 2012 dan 2013, Pasca Sarjana Fisika Angkatan 2013 semuanya tanpa terkecuali
11. Semua pihak yang telah memberikan support kepada penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran demi kesempurnaan pengembangan tesis ini selanjutnya.

Akhirnya penulis berharap semoga tesis ini bisa bermanfaat.

Surabaya, 10 Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Antena Monopole.....	5
2.2 Polarisasi Antena.....	6
2.3 Pola Radiasi.....	8
2.4 Gelombang Mikro	9
2.5 Saluran Transmisi Pandu Gelombang Silinder	10
2.6 Persamaan Gelombang Pada Pandu Gelombang Silinder.....	12
2.6.1 Mode TE Dalam Pandu Gelombang Silinder.....	16
2.6.2 Mode TM Dalam Pandu Gelombang Silinder.....	19
2.7 Frekuensi <i>Cut-off</i> pada Pandu Gelombang Silinder.....	21

2.8 Atenuasi dalam Pandu Gelombang Silinder	22
2.9 Sangkar Faraday	23
2.10 Karakteristik Saluran Transmisi <i>Circular Waveguide</i>	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1 Alat dan Bahan	25
3.2 Prosedur Penelitian	25
3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat	26
3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Alat <i>Monopole</i>	26
3.3.2 Perancangan dan Pembuatan <i>Access point</i>	28
3.3.3 Perancangan Pandu Gelombang Silinder	28
3.4 Pengambilan Data Hasil Fabrikasi Antena <i>Monopole</i>	31
3.5 Analisis Data Hasil Pengukuran	33
3.5.1 Analisis Data Hasil Pengukuran 1	33
3.5.2 Analisis Data Hasil Pengukuran 2	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Hasil Fabrikasi Antena <i>Monopole</i>	35
4.2 Hasil Pengukuran Daya Terima	36
4.2.1 Hasil Pengukuran 1	36
4.2.2 Hasil Pengukuran 2	37
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	45
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel	Nama	Halaman
2.1	Jenis Band Berdasarkan Rentang Frekuensi	9
2.2	X'_{mn} : Data Argument $k_c a$ yang Menghasilkan $J'_m(k_c a) = 0$	18
2.3	X_{mn} : Data Argument $k_c a$ yang Menghasilkan $J_m(k_c a) = 0$	19
2.4	Standar <i>Circular Waveguide</i>	24
3.1	Nilai Dimensi Antena <i>Monopole</i>	27
4.1	Rugi Daya dan Atenuasi Antena Berdasarkan Posisi <i>feeding</i> Tanpa Pandu Gelombang	36
4.2	Rugi Daya Antena dan Antenuasi Dielektrik Berdasarkan Posisi <i>feeding</i> dengan Pandu Gelombang.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Nama	Halaman
2.1	Skema dari Prinsip Kerja Antena.....	5
2.2	Foto Antena <i>Monopole</i>	6
2.3	Polarisasi Ellips Secara Umum	7
2.4	Radiasi lobe dan <i>Bandwidth</i> dari Suatu Pola Antena	8
2.5	Contoh Pola Radiasi Suatu Antena Omnidirektional	9
2.6	Mode Gelombang TE.....	11
2.7	Mode Gelombang TM.....	11
2.8	Pandu Gelombang Silinder	12
2.9	Fungsi Bessel Jenis Pertama	15
2.10	Fungsi Bessel Jenis Kedua.....	15
2.11	Koordinat Pandu Gelombang Silinder untuk Mode TE.....	16
3.1	Diagram Alir Data Penelitian.....	26
3.2(a)	Konektor <i>N-female</i>	27
3.2(b)	Kawat Tembaga.....	27
3.3(a)	Rancangan <i>Access point</i> Pemancar.....	28
3.3(b)	Rancangan <i>Access point</i> Penerima	28
3.4	<i>Access point</i> Penerima Dan Pemancar	29
3.5	Dimensi Pandu Gelombang Silinder	30
3.6	Skema Rangkaian Pengukuran Daya Terima Tanpa Pandu Gelombang	31
3.7	Skema Rangkaian Pengukuran Daya Terima Dengan Pandu Gelombang	32
3.8(a)	Posisi Titik <i>Feeding</i> Antena <i>Cross Section</i> Pipa	32
3.8(b)	Posisi Titik <i>Feeding</i> Antena Berjarak $\frac{1}{4} \lambda$ Dari Ujung Pipa	32
4.1(a)	Antena <i>Monopole</i> Tampak atas	35
4.1(b)	Antena <i>Monopole</i> (a) Tampak samping	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Nama	Halaman
1	Data Daya Terima Antena Tanpa Pandu Gelombang	45
2	Data Daya Terima Antena dengan Pandu Gelombang	47
3	Perhitungan Frekuensi <i>cutt-off</i>	50

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi komunikasi saat ini berkembang sangat pesat seiring perkembangan kebutuhan masyarakat. Salah satu sistem komunikasi yang cepat dan efisien yaitu penggunaan wireless. Wi-Fi (Wireless Fidelity) adalah koneksi tanpa kabel seperti handphone dengan mempergunakan teknologi radio sehingga pemakainya dapat mentransfer data dengan cepat dan aman karena menggunakan udara sebagai jalur transmisi.

Pada sistem komunikasi wireless antenna memiliki peranan penting dalam proses transmisi data. Semakin baik kualitas antenna semakin baik pula kualitas informasi yang diterima. Pada dasarnya antenna merupakan komponen yang dirancang untuk memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetika. Dalam mentransmisikan gelombang elektromagnetik antenna sebagai perangkat perantara antara media kabel dan udara, maka antenna harus mempunyai sifat yang sesuai(*match*) dengan media kabel pencatunya.(Alaydrus M, 2011)

Saluran Transmisi (*Transmission Line*) adalah suatu media yang berfungsi menyalurkan energi elektromagnetik dari satu titik ke titik lain. Dalam penyalurannya, energi tersebut mengalami *losses* akibat perubahan bentuk energi menjadi energi panas atau radiasi. Salah satu jenis saluran transmisi yaitu jenis *pandu gelombang* (pemandu gelombang berongga) merupakan tipe saluran transmisi yang dikenal untuk sinyal berfrekuensi tinggi, karena hanya sinyal yang memiliki frekuensi yang lebih besar dari frekuensi batas (*cut-off frequency*) dari *pandu gelombang* tersebut yang biasa merambat di dalamnya.

Beberapa kendala yang ada di lapangan dalam sistem komunikasi Wi-Fi adalah adanya jarak tempuh dan penghalang. Jarak tempuh menentukan desain struktur antenna yang akan digunakan. Seberapa jauh jangkauan sinyal radiasi yang akan dipancarkan menjadi pertimbangan yang sangat penting dalam mendesain antenna. Kendala lainnya yaitu penghalang berupa pepohonan, cuaca mendung dan gedung-gedung bertingkat yang secara langsung akan mempengaruhi proses

transmisi data karena adanya gangguan yang didapatkan pada medium udara sebagai saluran transmisinya.

Penelitian ini bertujuan menyelesaikan permasalahan tersebut dengan memanfaatkan pipa PDAM yang infrastrukturnya sudah ada sebagai saluran transmisi Wi-Fi, dengan harapan dapat menjangkau jarak yang jauh dan tidak adanya penghalang seperti yang telah disebutkan di atas.

Dengan dimanfaatkannya pipa PDAM sebagai saluran transmisi gelombang Wi-Fi dimana gelombang elektromagnetik yang menjalar melalui mekanisme pantulan. Sinyal yang hendak disalurkan cukup dimasukkan kedalam *pandu gelombang* melalui *port input* yang terhubung ke antena dalam *pandu gelombang*. Fungsi antena dalam *pandu gelombang* ini adalah untuk memancarkan gelombang elektromagnetik yang selanjutnya akan dipantulkan oleh dinding-dinding *pandu gelombang* untuk kemudian dibimbing menuju ke tempat tujuan. Pemilihan antena untuk pemancar dan penerima sangatlah penting agar sinyal dapat ditransmisikan secara optimal. Di samping pemilihan antena, penempatan posisi antena yang akan di mounting di dalam pipa juga menentukan besarnya daya yang akan dipandu. Hal ini terjadi karena didalam pipa akan terjadi superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul. Jika superposisi tidak saling menguatkan maka yang akan timbul adalah pelemahan (atenuasi), bahkan perubahan fase gelombang dan juga akan mempengaruhi sinyal yang akan diterima.

Antena monopole dengan desain yang sederhana telah diteliti dan mempunyai daya pancar dan terima maksimal dengan panjang kawat antena 3 cm dan diameter 1,88 mm. Salah satu faktor yang sangat berperan terhadap pola radiasi dalam antena adalah model *feeding* yang digunakan dan letak *feeding*, karena akan berpengaruh terhadap daya yang diradiasikan. (Hidayah,2009)

Antena yang dirancang dan difabrikasi dalam penelitian ini adalah antena *monopole* yang terdiri dari kawat tembaga dan konektor *N-Female* serta dilengkapi dengan saluran transmisi berupa *pandu gelombang* silinder. Dengan adanya *pandu gelombang* silinder ini diharapkan dapat memandu gelombang elektromagnetik yang lebih baik dibandingkan tanpa adanya *pandu gelombang*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan maka perumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana membuat antena *monopole* untuk komunikasi Wi-Fi dengan frekuensi 2,4 GHz ?
2. Bagaimana posisi *feeding* antena terbaik yang akan digunakan dalam komunikasi Wi-Fi dengan frekuensi 2,4 GHz melalui pipa PDAM?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian akan dibatasi pada:

1. Antena yang digunakan adalah *monopole* yang terbuat dari logam tembaga
2. Posisi antena di *feeding* pada *cross section* pipa dan pada jarak $\lambda/4$ dari ujung pipa.
3. Dielektrik yang digunakan di dalam pipa silinder berupa air (H_2O).
4. Pengukuran terfokus pada daya terima antena melalui pandu gelombang silinder berisi dielektrik.
5. Pipa silinder yang digunakan terbuat dari besi Fe
6. Frekuensi kerja Wi-Fi yang digunakan 2,4 GHz.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Membuat antena *monopole* untuk komunikasi Wi-Fi dengan frekuensi 2,4 GHz.
2. Mendapatkan data daya terima terbaik dari berdasarkan posisi titik *feeding*nya.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

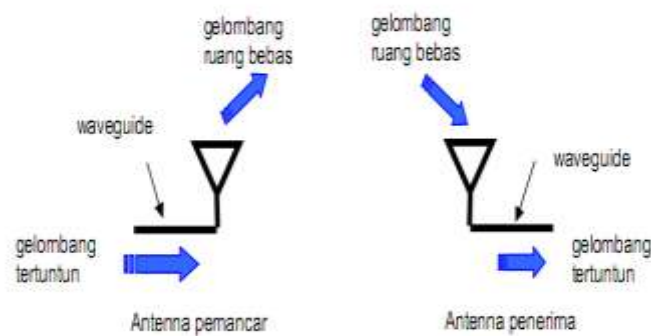
1. Mengetahui cara merancang dan membuat antena *monopole* dengan *feeding monopole* untuk komunikasi Wi-Fi.
2. Diharapkan dapat memanfaatkan saluran pipa PDAM sebagai alternatif lain pandu gelombang untuk jalur transmisi sinyal *wireless fidently* (WI-FI) dengan cara efektif dan efisien.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Antena adalah sebuah komponen yang dirancang untuk bisa memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetika. Antena sebagai alat pemancar (*transmitting antenna*) adalah sebuah transduser (pengubah) elektromagnetis, yang digunakan untuk mengubah gelombang terpandu di dalam saluran transmisi kabel, menjadi gelombang yang merambat ruang bebas, dan sebagai alat penerima (*receiving antenna*) mengubah gelombang ruang bebas menjadi gelombang tertuntun (Alaydrus M, 2011)



Gambar 2.1 Skema dari Prinsip Kerja Antena (Alaydrus M, 2011)

2.1 Antena *Monopole*

Antena *monopole* merupakan hasil modifikasi antena dipole dengan meletakkan bidang konduktor di tengah-tengah dipole pada bidang tegak lurus sumbu antena. Secara teoritis komponen antena *monopole* terdiri dari *radiator*, *ground plane* dan dicatu dengan *coaxial*. Antena ini memiliki *bandwidth* yang relatif sempit dibanding antena lain, maka dari itu antena *monopole* ini tergolong antena *narrowband*. Aplikasi dari antena *monopole* ini biasanya digunakan untuk mengirim atau menerima sinyal informasi yang membutuhkan *bandwidth* kecil seperti sinyal informasi *teks* meskipun antena *broadband* telah ditemukan, tetapi antena *monopole* sampai sekarang masih digunakan secara luas. Hal ini dikarenakan biaya fabrikasi relatif terjangkau, proses fabrikasinya relatif mudah

dan cepat serta unjuk kerjanya masih mampu bekerja secara efisien meskipun terbatas. (Hidayah, 2009)

Antena monopole dimensi fisiknya disesuaikan dengan panjang gelombang sistem bekerja. Semakin tinggi frekuensi kerja, maka semakin pendek panjang gelombangnya, sehingga semakin pendek panjang fisik suatu antena. Gambar 2.2 menunjukkan foto antena *monopole*, yang terbuat dari sebuah konektor tipe *N-female*, yang pada penghantar bagian dalamnya disolderkan kawat panjang.



Gambar 2.2 Foto Antena *Monopole*

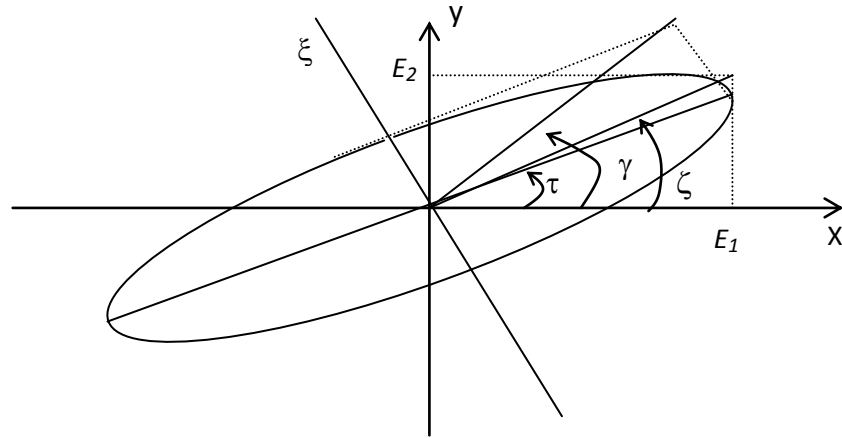
2.2 Polarisasi Antena

Polarisasi antena didefinisikan sebagai arah vektor medan listrik yang diradiasikan oleh antena pada arah propagasi. Jika jalur dari vektor medan listrik maju dan kembali pada suatu garis lurus dikatakan berpolarisasi *linier*, sebagai contoh medan listrik dari dipole ideal.

Jika vektor medan listrik konstan dalam panjang tetapi berputar disekitar jalur lingkaran, dikatakan berpolarisasi *lingkaran*. Frekuensi putaran radian adalah ω dan terjadi satu dari dua arah perputaran. Jika vektornya berputar berlawanan arah jarum jam dinamakan polarisasi tangan kanan (*right hand polarize*) dan yang searah jarum jam dinamakan polarisasi tangan kiri (*left hand polarize*). Suatu gelombang yang berpolarisasi elip untuk tangan kanan dan tangan kiri.

Secara umum polarisasi berupa polarisasi elips, seperti pada gambar 2.3 dengan suatu sistem sumbu referensi. Gelombang yang menghasilkan polarisasi elip adalah gelombang berjalan sepanjang sumbu z yang perputarannya dapat ke kiri dan ke kanan, dan vektor medan listrik sesaatnya e mempunyai arah

komponen e_x dan e_y sepanjang sumbu x dan sumbu y . Harga puncak dari komponen-komponen tersebut adalah E_1 dan E_2 .



Gambar 2.3 Polarisasi Ellips Secara Umum, (Liao, 1988)

Sudut γ menyatakan harga relatif dari E_1 dan E_2 , dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\gamma = \arctan \left| \frac{E_1}{E_2} \right| \quad (2.1)$$

Sudut kemiringan ellips τ adalah sudut antara sumbu x dengan sudut utama ellips. δ adalah fase, dimana komponen y mendahului komponen x . Jika komponennya sefase ($\delta = 0$), maka vektor akan berpolarisasi linier.

Orientasi dari polarisasi linier tergantung harga relatif dari E_1 dan E_2 , jika :

$E_1 = 0$ maka terjadi polarisasi linier vertikal

$E_2 = 0$ maka terjadi polarisasi linier horisontal

$E_1 = E_2$ maka terjadi polarisasi linier membentuk sudut 45°

Untuk memaksimumkan sinyal yang diterima, maka polarisasi antenna penerima haruslah sama dengan polarisasi antenna pemancar. Dan kadang terjadi antara antenna penerima dan pemancar berpolarisasi berbeda. Hal ini akan mengurangi intensitas sinyal yang diterima.

Sebuah antenna dapat memancarkan energi dengan polarisasi yang tidak diinginkan, yang disebut polarisasi silang (*cross polarized*). Polarisasi silang ini menimbulkan *side lobe* yang mengurangi *gain*. Untuk antenna polarisasi linier,

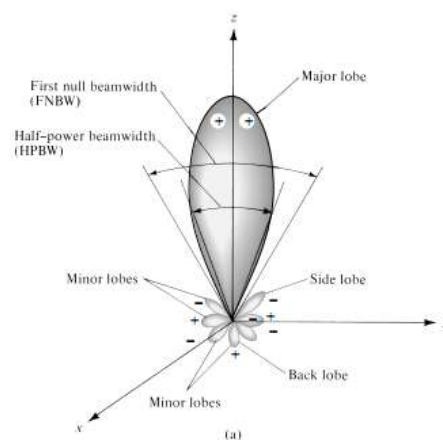
polarisasi silang tegak lurus dengan polarisasi yang diinginkan dan untuk antenna polarisasi lingkaran, polarisasi silang berlawanan dengan arah perputarannya yang diinginkan. Ini biasa yang disebut dengan deviasi dari polarisasi lingkaran sempurna, yang mengakibatkan polarisasinya berubah menjadi polarisasi ellips.

Pada umumnya karakteristik polarisasi sebuah antenna relatif konstan pada *main lobe*. Tetapi polarisasi beberapa *minor lobe* berbeda jauh dengan polarisasi *main lobe*. (Balanis,1997)

2.3 Pola Radiasi

Pola radiasi suatu antenna adalah pernyataan grafis yang menggambarkan sifat suatu antenna pada medan jauh sebagai fungsi arah (Balemurli, 2010). Pola radiasi terjadi karena arus listrik dalam suatu antenna selalu dikelilingi oleh medan magnetis. Arus listrik bolak balik (*alternating current*) menyebabkan muatan-muatan listrik bebas dalam antenna akan mendapat percepatan, sehingga timbul suatu medan elektromagnetik. Medan elektromagnetik tersebut bolak-balik akan berjalan menjauhi antenna dalam bentuk gelombang elektromagnetik. (Fadlillah, 2004).

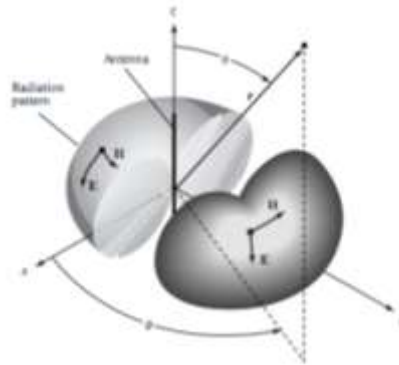
Pada umumnya, pola radiasi dari antenna berbentuk dua dimensi atau tiga dimensi yang menggambarkan intensitas radiasi atau kepadatan daya sebagai fungsi dari arah baik terhadap sudut elevasi Θ maupun sudut azimut. Pola ini dibuat untuk mengukur kuat medan pada setiap titik permukaan bola dengan antenna sebagai pusatnya.



Gambar 2.4 Radiasi Lobe dan Bandwidth dari suatu Pola Antena. (Balanis,1997)

Pola radiasi suatu antenna pada umumnya terdiri dari dari suatu lobe utama (*main lobe*) dan beberapa lobe kecil (*minor lobe*). Lobe utama adalah lobe yang mempunyai arah dengan pola radiasi maksimum. (Balanis, 1997)

Bentuk pola radiasi pada antenna omnidirectional dapat kita lihat pada Gambar 2.5 berikut



Gambar 2.5 Contoh Pola Radiasi suatu Antena Omnidirektional. (Balanis,1997)

2.4 Gelombang Mikro (*Microwave*)

Spektrum frekuensi gelombang mikro menurut model *IEEE band* (Hund, 1989) adalah pada rentang frekuensi antara 1GHz - 40 GHz dan terdiri dari tujuh *band* yang ditunjukkan dalam tabel berikut:

Tabel 2.1 Jenis Band Berdasarkan Rentang Frekuensi

Jenis Band	Rentang Frekuensi(GHz)
<i>L</i>	1-2
<i>S</i>	2-4
<i>C</i>	4-8
<i>X</i>	8-12
<i>K_u</i>	12-18
<i>K</i>	18 – 27
<i>K_a</i>	27 – 40

Terdapat tiga nada frekuensi yang termasuk ke dalam frekuensi gelombang makro ini yaitu *Ultra High Frequency (UHF)*, *Super High Frequency (SHF)* dan *Extremely High Frequency (EHF)*.

Sejauh ini energi gelombang mikro telah banyak dimanfaatkan untuk berbagai bidang, diantaranya adalah bidang komunikasi, militer, industri, sains, medis dan instrumentasi. Sementara pada wilayah domestik gelombang mikro lebih dikenal sebagai *microwave oven* untuk pemanasan makanan.

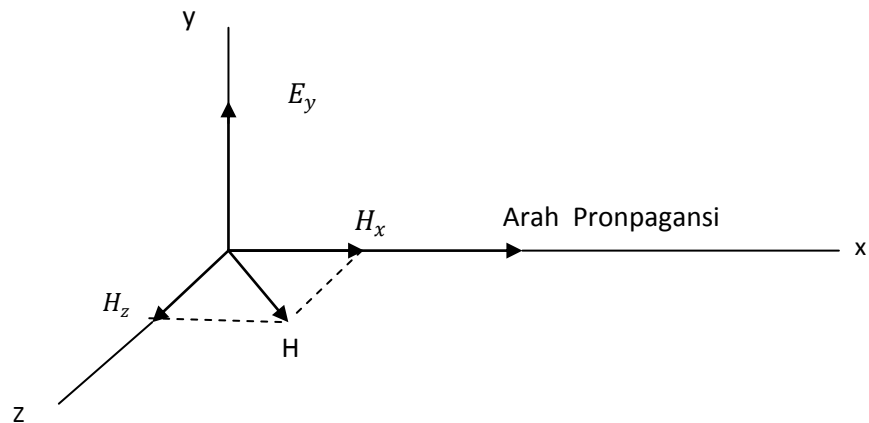
2.5 Saluran Transmisi Pandu Gelombang Silinder

Saluran transmisi dipakai untuk mentransmisikan energi listrik dan sinyal dari suatu titik ke titik yang lain. Distribusi medan untuk gelombang datang serbasama dan untuk saluran transmisi serbasama, dikenal sebagai gelombang elektromagnetik transversal karena **E** dan **H** keduanya tegak lurus pada arah penjalaran atau keduanya terletak pada bidang transversal.

Waveguide atau biasa disebut bumbung gelombang, merupakan salah satu saluran transmisi jenis tunggal yang berfungsi untuk menghantarkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 300 MHz – 300 GHz. Dalam kenyataannya, waveguide merupakan media transmisi dengan dimensi tengah berongga yang memiliki hantaran (konduktivitas) sangat tinggi yang berfungsi memandu gelombang pada arah tertentu.

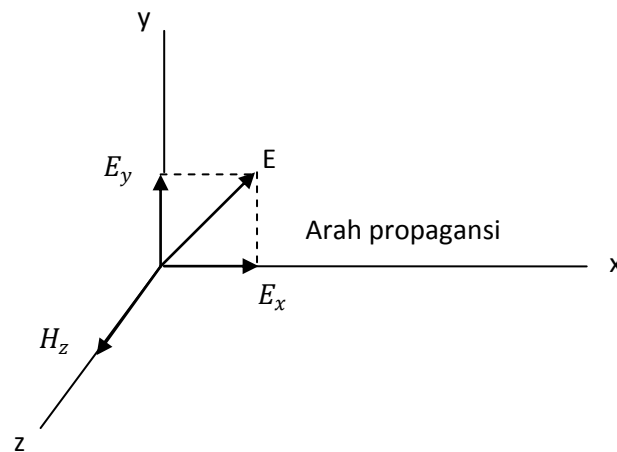
Pandu gelombang silinder menggunakan sistem koordinat polar. Adapun parameter yang digunakan dalam koordinat polar terdiri dari jari-jari r , sudut dari arah horizontal θ , dimensi ketiga z .

Pada pandu gelombang silindrik, mode pandu gelombangnya terdiri atas *transverse electric* (TE) dan *transverse magnetic* (TM). TE adalah gelombang yang medan listriknya tegak lurus terhadap arah propagansi gelombang. Dalam hal ini medan magnet untuk TE memiliki komponen pada sumbu x dan z terhadap medan listrik, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut



Gambar 2.6 Mode Gelombang TE

Sedangkan *Transverse magnetic* (TM) adalah gelombang yang medan magnetiknya tegak lurus terhadap arah propagansi gelombang. Dalam hal ini medan listrik untuk TM memiliki komponen pada sumbu x dan y terhadap medan listrik, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.7 Mode Gelombang TM

Pada pandu gelombang silinder, mode pandu gelombangnya terdiri atas $TE_{m,n}$ dan $TM_{m,n}$. Karena pandu gelombang silinder lebih baik dibandingkan susunan pandu gelombang persegi maka huruf index n dan m memiliki makna yang berbeda. Suku m dalam pandu gelombang silinder menyatakan jumlah gelombang penuh di sekitar keliling silinder dalam dari pandu (komponen radial

medan listrik). Sedangkan suku n dalam pandu gelombang silinder menyatakan jumlah setengah panjang gelombang yang melintasi diameter dalam dari pandu gelombang silinder. (Hund, 1989)

2.6 Persamaan Gelombang Pada Koordinat Pandu Gelombang Silinder

Syarat batas yang diterapkan dalam pandu gelombang persegi panjang juga dibutuhkan pada pandu gelombang silinder. Hal ini disebabkan karena susunan silinder memiliki solusi yang lebih kompleks, lebih menuntut penggunaan fungsi Bessel dibandingkan fungsi trigonometri. Solusi derivasi matematis tidak dibahas dalam tes ini, hanya hasil dari solusi tersebut akan yang digunakan.

Persamaan gelombang memiliki domain waktu dan solusi frekuensi domain. Untuk menyederhanakan solusi dari persamaan gelombang dalam tiga dimensi lebih dari satu variabel waktu, hanya sinusoidal steady-state atau frekuensi domain. (Liao, 1988)

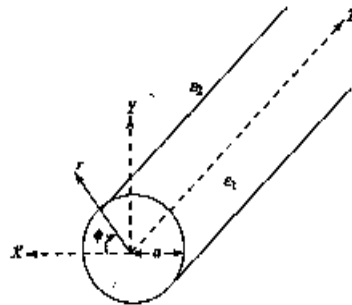
Persamaan gelombang listrik dan magnet dalam domain-frekuensi adalah:

$$\nabla^2 E = \gamma^2 E \quad (2.1)$$

$$\nabla^2 H = \gamma^2 H \quad (2.2)$$

Dimana: $\gamma = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)} = \sqrt{a + j\beta}$

Persamaan kedua disebut persamaan gelombang sektor. Titik koordinat pandu gelombang silinder dapat ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.8 Pandu Gelombang Silinder. (Liao, 1988)

Sebuah pandu gelombang silinder skematis ditunjukkan pada Gambar 2.6. Pandu gelombang silinder memiliki sebuah jari-jari, a , dan sebuah permitivitas ϵ . Dapat diasumsikan bahwa bidang longitudinal komponen E_z dan H_z yang independen, dan komponen transversal H_r , H_ϕ , E_r , persamaan disajikan E_z dan H_z . Secara umum, pendekatan untuk analisis maka untuk menyelesaikan persamaan gelombang untuk E_z dan H_z dalam dan di luar batang, menemukan komponen melintang, menerapkan kondisi batas pada permukaan batang, dan menemukan bidang modal dan propagasi konstan. Persamaan gelombang untuk E_z dan H_z pada pandu gelombang silinder dapat dilihat pada skalar kompleks atau persamaan Helmholtz

$$\nabla^2\{\psi\} + \omega^2\mu\epsilon\{\psi\} = 0 \quad (2.3)$$

Persamaan Helmholtz disajikan dalam koordinat silinder adalah

$$\left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \omega^2\mu\epsilon \right] \psi = 0 \quad (2.4)$$

Dengan menggunakan metode pemisahan variabel, diasumsikan bahwa solusinya adalah dalam hal berikut:

$$\psi = R(r)\Phi(\phi)Z(z) \quad (2.5)$$

Dimana;

$R(r)$ merupakan fungsi dari koordinat r

$\Phi(\phi)$ merupakan fungsi dari koordinat ϕ ,

dan $Z(z)$ merupakan fungsi dari koordinat z

Mensubstitusikan Persamaan (2.4) ke dalam Persamaan (2.3) dan membagi hasilnya dengan Persamaan (2.4), diperoleh:

$$-\frac{1}{rR} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) - \frac{1}{r^2\Phi} \frac{d^2\Phi}{d\phi^2} + \frac{d^2Z}{dz^2} = \gamma^2 \quad (2.6)$$

Karena jumlah dari tiga suku independen adalah sebuah konstanta, masing-masing dari tiga syarat harus berupa sebuah konstanta γ_g^2 :

$$\frac{d^2 Z}{dz^2} = \gamma_g^2 Z \quad (2.7)$$

Maka solusi dari persamaan (2.7)

$$Z = Ae^{-\gamma_g z} + Be^{\gamma_g z} \quad (2.8)$$

Dimana γ_g adalah konstanta propagasi gelombang. Mensubstitusikan γ_g^2 untuk ketiga sisi kiri dari Persamaan (2.7) dan mengalikan resultan dengan r^2 , maka diperoleh:

$$\frac{1}{rR} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) + \frac{1}{r^2 \Phi} \frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} - (\gamma^2 - \gamma_g^2) r^2 = 0 \quad (2.9)$$

Istilah kedua adalah hanya fungsi ϕ ; maka menyamakan istilah kedua konstan $-m^2$ menghasilkan:

$$\frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} = -m^2 \Phi \quad (2.10)$$

Persamaan (2.10) adalah fungsi harmonik :

$$\Phi = A_n \sin(m\phi) + B_n \cos(m\phi) \quad (2.11)$$

Mengganti ϕ dengan $-n^2$ ke Persamaan (2.11) dan mengalikan dengan R, maka diperoleh:

$$r \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) + [(k_c r)^2 - m^2] R = 0 \quad (2.12)$$

Ini adalah fungsi Bessel order m, dimana:

$$k_c^2 + \gamma^2 = \gamma_g^2 \quad (2.13)$$

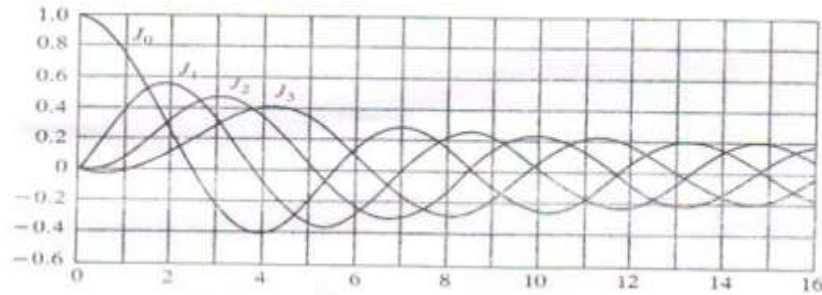
Persamaan (2.13) adalah persamaan karakteristik dari fungsi Bessel. Untuk pandu gelombang lossless, Persamaan (2.13) digunakan untuk mengurangi

$$\beta_g = \pm \sqrt{\omega^2 \mu \varepsilon - k_c^2} \quad (2.14)$$

Persamaan Bessel mengambil bentuk :

$$R = C_m J_m(k_c r) + D_m N_m(k_c r) \quad (2.15)$$

Dimana $J_m(k_c r)$ adalah urutan ke-n fungsi Bessel jenis pertama, yang merupakan gelombang berdiri dari $\cos(k_c r)$ untuk $a < r$, ditunjukkan pada Gambar 2.

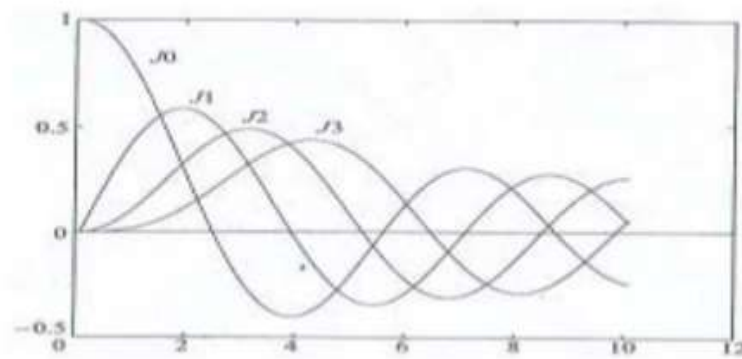


Gambar 2.9 Fungsi Bessel Jenis Pertama. (Liao,1988)

Oleh karena itu solusi total dari persamaan Helmholtz dalam koordinat silinder menjadi:

$$\psi = [C_m J_m(k_c r) + D_m N_m(k_c r)][A_m \sin(m\phi) + B_m \cos(m\phi)]e^{\pm j\beta_g z} \quad (2.16)$$

Dan $N_m(k_c r)$ adalah urutan ke-m fungsi Bessel jenis kedua, yang mewakili gelombang berdiri dari $\sin(k_c r)$ untuk $r > a$, nilai $k_c r$ adalah argumen dari fungsi Bessel ditunjukkan pada Gambar 2.8



Gambar 2.10. Fungsi Bessel Jenis Kedua. (Liao,1988)

Pada $0 = r$, namun, $k_c r = 0$, pendekatan fungsi N_m tak terhingga, dan $D_m = 0$. Jadi $r = 0$ pada sumbu z , harus dibatasi. Selain itu, dengan memanipulasi fungsi trigonometri, dapat mengubah kedua istilah sinusoidal:

$$(A_m \sin(m\phi) + B_m \cos(m\phi)) = \sqrt{A_m^2 + B_m^2} \cos \left[m\phi + \tan^{-1} \left(\frac{A_m}{B_m} \right) \right]$$

$$= F_m \cos(m\phi)$$

$$\psi = \psi_0 \cos(m\phi) J_m(k_c r) e^{-j\beta_g z} \quad (2.17)$$

2.6.1 Mode TE Dalam Pandu Gelombang Silinder

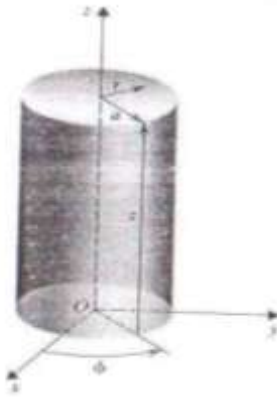
Pandu gelombang silinder merambat dalam arah z positif. Mode TEMn dalam pandu gelombang silinder, dicirikan oleh $E_z = 0$, yang berarti bahwa komponen z dari medan magnet H_z harus ada dalam bumbung gelombang agar energi elektromagnetik yang akan dikirim. Persamaan Helmholtz untuk H_z pada pandu gelombang silinder:

$$\nabla^2 H_z = \gamma^2 H_z \quad (2.18)$$

Pada persamaan (2.17)

$$H_z = H_{oz} J_m(k_c r) \cos(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.19)$$

Koordinat dari pandu gelombang silinder untuk mode TE ditunjukkan pada Gambar 2.9



Gambar 2.11 Koordinat Pandu Gelombang Silinder Untuk Mode TE. (Liao,1988)

$E_z = 0$, Persamaan mode TE untuk pandu gelombang silinder adalah:

$$E_r = -\frac{j\omega\mu}{k_c^2} \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial \phi} \quad (2.20)$$

$$E_\phi = \frac{j\omega\mu}{k_c^2} \quad (2.21)$$

$$E_z = 0$$

$$H_r = \frac{-j\beta_g}{k_c^2} \frac{\partial H_z}{\partial r} \quad (2.22)$$

$$H_\phi = \frac{-j\beta_g}{k_c^2} \frac{1}{r} \frac{\partial H_z}{\partial r} \quad (2.23)$$

Dan

$$H_z = H_{oz} J_m(k_c r) \cos(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.24)$$

dimana $k_c^2 = \omega^2 \mu \epsilon - \beta_g^2$ telah diganti.

Kondisi batas mengharuskan ϕ komponen medan listrik E_ϕ yang tangensial pada permukaan bagian dalam pandu gelombang silinder di $r = a$ harus menghilang atau bahwa komponen r medan magnetik H_r yang normal terhadap permukaan dalam $r = a$ harus dihilangkan. Sehingga:

$$E_\phi = 0 \text{ pada } r = a, \dots \frac{\partial H_z}{\partial r} \Big|_{r=a} = 0 \text{ atau } H_r = 0 \text{ pada } r = a, \dots \frac{\partial H_z}{\partial r} \Big|_{r=a} = 0$$

Persyaratan ini setara dengan yang disajikan dalam Persamaan (2.18) sebagai

$$\frac{\partial H_z}{\partial r} \Big|_{r=a} = H_{oz} J'_m(k_c a) \cos(m\phi) e^{-j\beta_g z} = 0 \quad (2.25)$$

Karenanya,

$$J'_m(k_c a) = 0. \quad (2.26)$$

Yang mana J'_m menunjukkan turunan dari J_m . Karena fungsi J'_m yang berosilasi, fungsi $J'_m(k_c a)$ juga berosilasi. Sebuah urutan nilai tak terbatas ($k_c a$). Titik-titik akar dari Persamaan (2.31) sesuai dengan maximum dan minimum dari kurva $J'_m(k_c a)$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Tabel 2.2 berisi beberapa akar $J'_m(k_c a)$ untuk beberapa nilai m lebih rendah.

Tabel 2.2. X'_{mn} : Data Argument $k_c a$ yang Menghasilkan $J'_m(k_c a) = 0$.

m n	0	1	2	3	4
1	3.38317	1.8412	3.0542	4.2012	5.3175
2	7.0156	5.3315	6.7062	8.0153	9.2824
3	10.1735	8.5363	9.9695	11.3459	12.6819
4	13.3237	11.7060	13.1704	14.5859	15.9641

Untuk nilai k_c yang diizinkan sebagai berikut:

$$k_c = \frac{X'_{mn}}{a} \quad (2.27)$$

dimana X'_{mn} adalah argumen dari fungsi Bessel.

Mensubstitusi Persamaan (2.19) ke dalam Persamaan (2.20)-(2.21) menghasilkan persamaan medan listrik mode TE_{mn} di gelombang Pandu:

$$E_r = E_{or} J_m \left(\frac{X'_{mn} r}{a} \right) \sin(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.28)$$

$$E_\phi = E_{o\phi} J'_n \left(\frac{X'_{mn} r}{a} \right) \cos(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.29)$$

$E_z = 0$

$$H_r = \frac{E_{o\phi}}{Z_g} J'_m \left(\frac{X'_{mn} r}{a} \right) \cos(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.30)$$

$$H_\phi = \frac{E_{or}}{Z_g} J'_m \left(\frac{X'_{mn} r}{a} \right) \sin(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.31)$$

$$H_z = H_{oz} J'_m \left(\frac{X'_{mn} r}{a} \right) \cos(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.32)$$

Dimana

$$Z_g = \frac{E_r}{H_\phi} = -\frac{E_\phi}{H_r}$$

diganti untuk impedansi gelombang dalam bumbung gelombang.

$m = 0, 1, 2, 3, \dots$, dan $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

m merupakan jumlah siklus penuh variasi dalam satu revolusi melalui 2π radian dari ϕ . n menunjukkan jumlah nol dari E_ϕ ; yaitu, $J'_m[(X'_{mn} r)/a]$ menunjukkan angka nol sepanjang radial bumbung gelombang, tetapi nol pada sumbu yang dikecualikan jika ada.

2.6.2. Mode TM Dalam Pandu Gelombang Silinder

Mode TM_{np} dalam pandu gelombang silinder dicirikan oleh $H_z = 0$. Namun, komponen z dari E_z medan listrik harus ada agar energi ditransmisikan dalam bumbung gelombang ini. Sehingga, persamaan Helmholtz untuk E_z dalam bumbung gelombang melingkar dapat dituliskan

$$\nabla^2 E_z = -\gamma^2 E_z \quad (2.33)$$

Seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.16)

$$E_z = E_{0z} J_m(k_c r) \cos(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.31)$$

Yang dikenakan kondisi batas. Kondisi batas mengharuskan komponen tangensial dari E_z medan listrik pada $r = a$ lenyap. Sehingga diperoleh:

$$J_m(k_c a) = 0 \quad (2.32)$$

Karena $J_m(k_c r)$ fungsi yang berosilasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar (2.7) sebelumnya, terdapat jumlah tak terbatas akar $J_m(k_c r)$. Tabel 2.3 menunjukkan beberapa akar $J_m(k_c r)$ untuk beberapa nilai m.

Tabel 2.3. X_{mn} : Data Argument $k_c a$ yang Menghasilkan $J_m(k_c a) = 0$.

m n	0	1	2	3	4
1	2.4049	3.8318	5.1357	6.3802	7.5884
2	5.5201	7.0156	8.4173	9.7610	11.0642
3	8.6537	10.1735	11.6199	13.0152	14.3726
4	11.7915	13.3237	14.7960	16.2235	17.6160

Untuk $H_z = 0$ dan $\frac{\partial}{\partial z} = -j\beta_g$, persamaan dalam pandu gelombang silinder, setelah perluasan dari $\nabla \times E = -j\omega\mu H$ dan $\nabla \times H = j\omega\epsilon E$ adalah:

$$E_r = \frac{-j\beta_g}{k_c^2} \frac{\partial E_z}{\partial r} \quad (2.33)$$

$$E_{\phi} = \frac{-j\beta_g}{k_c^2} \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \phi} \quad (2.34)$$

$$E_z = E_{oz} J_m(k_c r) \sin(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.35)$$

$$H_r = \frac{j\omega\epsilon}{k_c^2} \frac{1}{r} \frac{\partial E_z}{\partial \phi} \quad (2.36)$$

$$H_y = -\frac{j\omega\epsilon}{k_c^2} \frac{\partial E_z}{\partial r} \quad (2.36)$$

Dan

$$H_z = 0 \quad (2.37)$$

Dimana $\beta_g^2 - \omega^2 \mu \epsilon = -k_c^2$

Membedakan persamaan (2.30) dengan z dan substitusi hasil ke persamaan (2.31)(2.37), mendapatkan persamaan baru mode TM_{mn} di pandu gelombang silinder;

$$E_r = E_{or} J'_m \left(\frac{X_{mn} r}{a} \right) \cos(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.38)$$

$$E_{\phi} = E_{o\phi} J'_m \left(\frac{X_{mn} r}{a} \right) \sin(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.39)$$

$$E_z = E_{oz} J'_m \left(\frac{X_{mn} r}{a} \right) \cos(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.40)$$

$$H_r = \frac{E_{or}}{Z_g} J_m \left(\frac{X_{mn} r}{a} \right) \sin(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.41)$$

$$H_{\phi} = \frac{E_{or}}{Z_g} J'_m \left(\frac{X_{mn} r}{a} \right) \cos(m\phi) e^{-j\beta_g z} \quad (2.42)$$

Dan

$$H_z = 0 \quad (2.43)$$

Dimana

$$Z_g = \frac{E_r}{H_\phi} = -\frac{E_\phi}{H_r} = \frac{\beta_g}{\omega \epsilon} \text{ dan } k_c = \frac{X_{mn}}{a}$$

X_{mn} = Argumentasi Fungsi Bessel

$m = 0, 1, 2, 3, \dots$; dan

$n = 1, 2, 3, 4, \dots$

Beberapa persamaan karakteristik mode TE adalah identik kepada karakteristik mode TE, dapat dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$\text{Frekuensi cut-off, } f_c = \frac{X_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon_0}}. \quad (2.44)$$

$$\text{Konstanta, } K_c = \frac{X_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon_0}} \quad (2.45)$$

$$\text{Konstanta fase, } \beta_g = \sqrt{\omega^2 \mu \epsilon_0 - \left(\frac{X_{mn}}{a}\right)^2} \quad (2.46)$$

$$\text{Panjang gelombang, } \lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \quad (2.47)$$

$$\text{Kecepatan fase, } v_g = \frac{\omega}{\beta_g} \frac{v_p}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \quad (2.48)$$

$$\text{Impedansi gelombang, } Z_g = \frac{\omega \mu}{\beta_g} \frac{\eta}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \quad (2.49)$$

$$\text{Impedansi karakteristik, } Z_{og} = \frac{\eta}{2\pi \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2}} \quad (2.50)$$

2.7 Frekuensi Cut-off pada Pandu Gelombang Silinder

Pada pandu gelombang silinder, frekuensi yang sangat rendah dapat ditransmisikan melewati pandu gelombang mode $TE_{1,1}$. Operasi panjang gelombang yang sangat besar didefinisikan sebagai dasar atau mode dominan.

Mode dominan pada pandu gelombang silinder berhubungan dengan mode $TE_{1,0}$. Jika pandu gelombang persegi yang dibangkitkan pada mode $TE_{1,0}$ dan dihubungkan dengan pandu gelombang silinder dengan sifat interface maka akan menghasilkan mode $TE_{1,1}$ dalam pandu gelombang silinder.

Untuk menentukan frekuensi *cut-off* maka diperlukan akar fungsi Bessel. Frekuensi *cut-off* dari $TE_{m,n}$ sebanding dengan :

$$f_c = \frac{X'_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon_0}} \quad (2.51)$$

Frekuensi *cut-off* dari $TM_{m,n}$ sebanding dengan :

$$f_c = \frac{X_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu \epsilon_0}} \quad (2.52)$$

Dimana :

f_c = frekuensi yang paling besar yang mungkin diberikan dalam mode m,n .

r = jari-jari dalam pandu gelombang silinder

$X'_{m,n}$ = akar fungsi Bessel (ditunjukkan dalam tabel 2.2)

$X_{m,n}$ = akar fungsi Bessel (ditunjukkan dalam tabel 2.3)

Berdasarkan tabel 2.2 dan tabel 2.3, untuk nilai $x'_{0,1}$ lebih besar dan membutuhkan pandu gelombang yang lebih besar pada frekuensi yang sama. Untuk alasan ini, mode $TE_{1,1}$ dianggap sebagai mode dominan. Sama halnya dengan $TM_{0,1}$ yang merupakan mode dominan untuk TM gelombang. (Hund, 1989)

2.8 Atenuasi dalam Pandu Gelombang Silinder

Salah satu konstanta perambatan adalah konstanta atenuasi yang juga disebut sebagai konstanta peredaman. Peredaman dalam perambatan muncul akibat dari penggunaan saluran transmisi yang mengandung kerugian dimana bahan konduktor dari saluran transmisi yang digunakan tidak ideal, maka dapat dituliskan, (Kraus, 1982)

Atenuasi pada $f < f_c (\lambda > \lambda_{cut-off})$

$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\left(\frac{\lambda_{cut-off}}{\lambda}\right)^2 - 1} \quad (2.53)$$

Atenuasi pada $f > f_c (\lambda < \lambda_{cut-off})$

$$\alpha = \frac{ReZ_c}{aReZ_d \sqrt{1-f_c/f}} \left[\left(\frac{f_c}{f}\right)^2 + \frac{n^2}{(\chi'_{mn})^2 - n^2} \right] \quad (2.54)$$

dimana:

$Re Z_c$ = bagian riil impedansi instrinsik dari dinding pandu konduktor

$Re Z_d$ = bagian riil dari transfer impedansi pandu gelombang di udara

2.9 Sangkar Faraday

Sangkar Faraday atau tameng Faraday adalah sebuah ruang tertutup yang terbuat dari bahan-bahan penghantar listrik. Ruangan itu mampu merintangi medan listrik statik eksternal. Medan listrik statik eksternal akan menyebabkan muatan listrik di dalam bahan yang konduktif untuk menyalurkan kembali diri mereka sendiri. Hal ini kemudian membatalkan efek medan listrik statik di bagian dalam sangkar. Efek ini bisa digunakan untuk melindungi peralatan elektronik dari sambaran petir dan lucutan/pengosongan elektrostatik yang lain. (Wikipedia, 2015).

Kotak Sangkar Faraday adalah sebuah kotak konduksi dimana energy dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik . Kotak tersebut beraksi sebagai batas pengurung gelombang-gelombang tersebut dalam sebuah ruangan tertutup. Efek sangkar faraday mencegah efek-efek elektromagnetis agar tidak muncul diluar kotak. Medan elektromagnetis dipropagasikan melalui pandu gelombang dengan refleksi terhadap dinding bagian dalamnya, yang dianggap sebagai konduktor sempurna.

2.10 Karakteristik Saluran Transmisi *Circular Waveguide*

Diameter dari sebuah *circular waveguide* diatur oleh frekuensi sinyal yang ditransmisikan. Sebagai contoh pada frekuensi X-band dari 8-12 GHz diameter bagian dalam sebuah *circular Waveguide* 2,383 cm (0938 inci) yang ditunjuk

sebagai EIA WC (94) oleh *Electronic Industry Association*. Standar *circular waveguide* ditunjukkan pada tabel 2.4 berikut(Sianturi, 2010).

Tabel 2.4 Standar *Circular Waveguide*

EIA Designation WC ()	Inside diameter $2a$ Cm (in.)	Cut-off Frequency For Air-Filled Waveguide (GHz)	Recommended Frequency Range for TE ₁₁ Mode (GHz)
992	25.184 (9.915)	0.698	0.80-1.10
847	21.514 (8.470)	0.817	0.94-1.29
724	18.377 (7.235)	0.957	1.10-1.51
618	15.700 (6.181)	1.120	1.29-1.76
528	13.411 (5.280)	1.311	1.51-2.07
451	11.458 (4.511)	1.534	1.76-2.42
385	9.787 (3.853)	1.796	2.07-2.83
329	8.362 (3.292)	2.102	2.42-3.31
281	7.142 (2.812)	2.461	2.83-3.88
240	6.104 (2.403)	2.880	3.31-4.54
205	5.199 (2.047)	3.381	3.89-5.33
175	4.445 (1.750)	3.955	4.54-6.23
150	3.810 (1.500)	4.614	5.30-7.27
128	3.254 (1.281)	5.402	6.21-8.51
109	2.779 (1.094)	6.326	7.27-9.97
94	2.383 (0.938)	7.377	8.49-11.60
80	2.024 (0.797)	8.685	9.97-13.70
69	1.748 (0.688)	10.057	11.60-15.90
59	1.509 (0.594)	11.649	13.40-18.40
50	1.270 (0.500)	13.842	15.90-21.80
44	1.113 (0.438)	15.794	18.20-24.90
38	0.953 (0.375)	18.446	21.20-29.10
33	0.833 (0.328)	21.103	24.30-33.20
28	0.714 (0.281)	24.620	28.30-38.80
25	0.635 (0.250)	27.683	31.80-43.60
22	0.556 (0.219)	31.617	36.40-49.80
19	0.478 (0.188)	36.776	42.40-58.10
17	0.437 (0.172)	40.227	46.30-63.50
14	0.358 (0.141)	49.103	56.60-77.50
13	0.318 (0.125)	55.280	63.50-87.20
11	0.277 (0.109)	63.462	72.70-99.70
9	0.239 (0.094)	73.552	84.80-116.00

BAB 3

METODE PENELITIAN

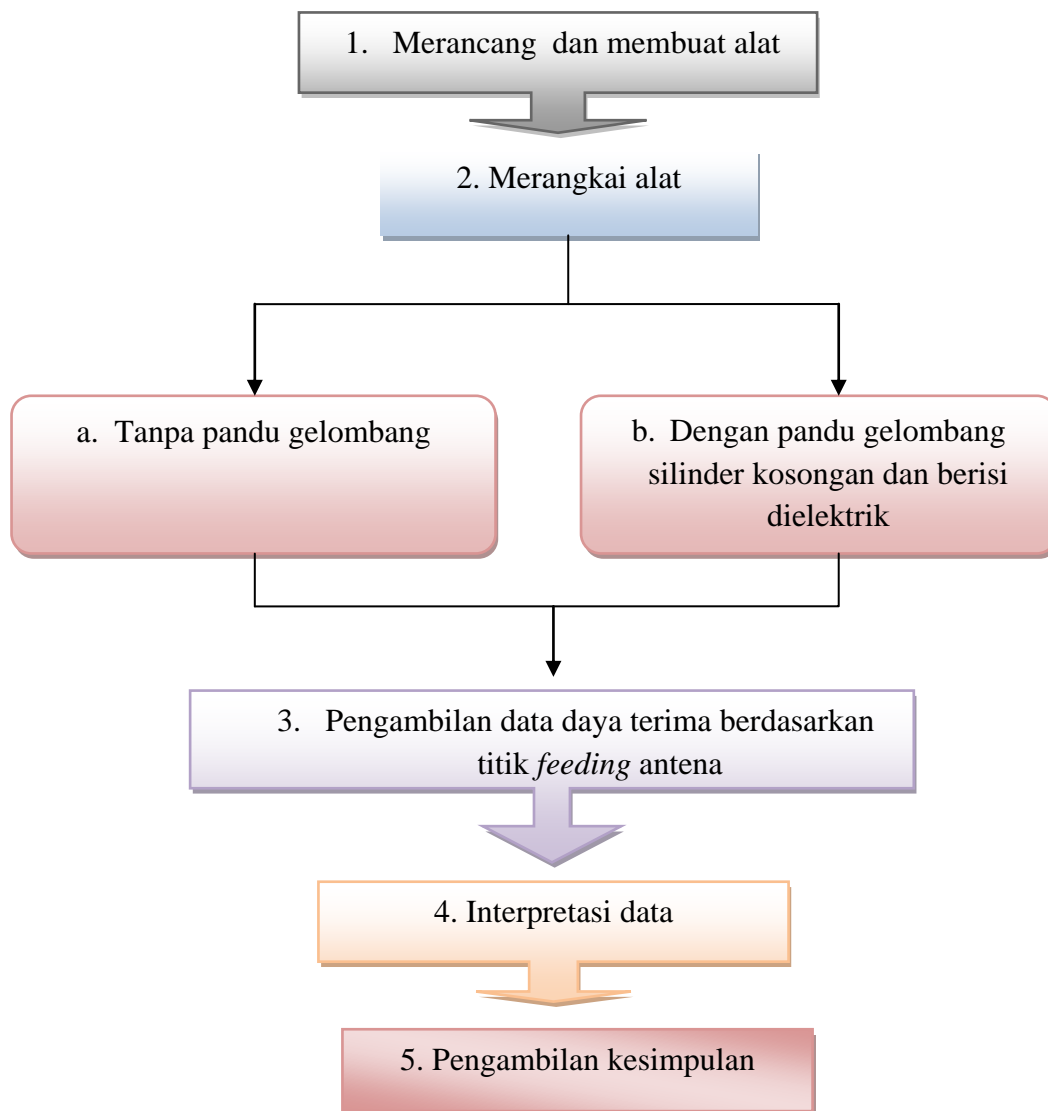
3.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah

1. Box/sangkar faraday
2. *Access point* (WI-FI)
3. Kabel konektor
4. Konektor tipe N
5. PC (*Personal Computer*)
6. Air (H₂O)
7. Pandu gelombang silinder besi berdiameter 10,86 cm dengan panjang 6 m
8. Kawat tembaga dengan diameter 2,25 mm sebagai *monopole*.

3.2. Prosedur Penelitian

Secara garis besar tahapan penelitian mengikuti diagram alir pada Gambar 3.1 yang digunakan dalam memperoleh data penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Data Penelitian

3.3 Perancangan dan Pembuatan Alat

3.3.1 Perancangan dan Pembuatan Antena *Monopole*

Parameter dimensi antenna diperoleh dari frekuensi kerja rancangan antenna. Untuk rancangan antenna *monopole* yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz terdiri dari konektor tipe N-*female* dan kawat tembaga. Penentuan panjang kawat tembaga menggunakan persamaan berikut ini:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2,4 \times 10^9 \text{ Hz}}$$

$$\lambda = 12,5 \text{ cm}$$

Jangkauan pola radiasi untuk antenna *monopole* menggunakan $\frac{\lambda}{4}$, maka panjang kawat tembaga yang digunakan:

$$l = \frac{\lambda}{4}$$

$$l = \frac{12,5}{4}$$

$$l = 3,12 \text{ cm}$$



(a)



(b)

Gambar 3.2 (a). Konektor *N-female*, (b). Kawat Tembaga

Tabel 3.1. Nilai Dimensi Antena *Monopole*

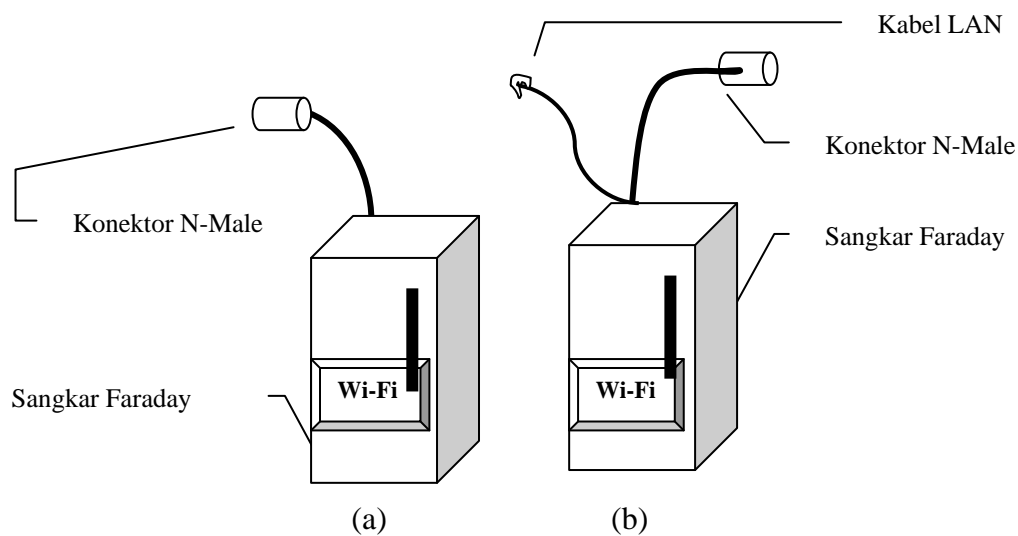
Parameter	Nilai
Frekuensi Kerja	2,4 GHz
Panjang Gelombang (λ)	12,5 cm
Diameter Tembaga	2,25 mm
Panjang Tembaga (l)	3,12 cm
Diameter <i>Groundplane</i>	3 cm

Berdasarkan pemodelan bentuk geometri antena *monopole* pada Tabel 3.1 dan penentuan antena yang telah dirancang seperti pada Gambar 3.2 maka dilakukan pembuatan 2 buah antena *monopole* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pemotongan kawat tembaga masing-masing dengan panjang 3,12 cm berdiameter 2,25 mm.
2. Penyolderan kawat tembaga pada konektor tipe N-*female*.

3.3.2 Perancangan dan Pembuatan *Access point*

Ada dua *access point* yang digunakan dengan frekuensi 2,4 GHz, masing-masing berfungsi sebagai pemancar dan penerima. Dua *access point* tersebut diletakkan dalam boks konduktor yang berfungsi sebagai sangkar faraday untuk melindungi gangguan radiasi dari luar dan juga untuk mengarahkan radiasi yang dimilikinya.



Gambar 3.3 (a). Rancangan *Access point* Pemancar
(b) . Rancangan *Access point* Penerima

Adapun jenis WI-FI yang digunakan dalam pembuatan *Access point* yaitu model TL- WA701ND dengan spesifikasi kecepatan 150 Mbps.



Gambar 3.4 Access point Penerima dan Pemancar

3.3.3 Perancangan Pandu Gelombang Silinder (*Silinder Waveguide*)

Ukuran pandu gelombang disesuaikan dengan frekuensi antena. Supaya gelombang dapat menjalar di dalam pandu gelombang silinder maka frekuensi kerja antena harus lebih besar dari frekuensi *cutt-off* pandu gelombang. Mode yang digunakan adalah mode yang frekuensi *cutt-off* nya paling kecil yaitu mode TE_{11} dan TM_{01} dengan menggunakan Persamaan 2.44 : (Hund, 1989)

$$\text{Untuk mode } TE_{11} \quad f_c^{TE_{11}} = \frac{X'_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}}$$

$$f_c^{TE_{11}} = \frac{1.8412(3 \times 10^8 \frac{m}{s})}{2(3,14)a}$$

$$f_c^{TE_{11}} = \frac{552360000}{6,28 a}$$

Frekuensi kerja (2,4 GHz) harus lebih besar dari f_c (frekuensi *cutt-off*), maka

$$2,4 \times 10^9 > \frac{552360000}{6,28 a}$$

$$a > \frac{1149540000}{(2,4 \times 10^9)6,28}$$

$$a > 0,036648089 \text{ m}$$

$$a > 3,66 \text{ cm}$$

Untuk mode TM_{01} $f_c^{TM_{01}} = \frac{X_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}}$

$$f_c^{TM_{01}} = \frac{2,4049(3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})}{2(3,14)a}$$

$$f_c^{TM_{01}} = \frac{721470000}{6,28 a}$$

Frekuensi kerja (2,4 GHz) harus lebih besar dari f_c (frekuensi *cutt-off*), maka

$$2,4 \times 10^9 > \frac{721470000}{6,28 a}$$

$$a > \frac{721470000}{(2,4 \times 10^9)6,28}$$

$$a > 0,0478682 \text{ m}$$

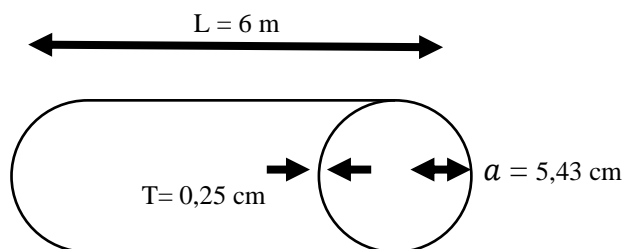
$$a > 4,78 \text{ cm}$$

Dimana :

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\sqrt{\mu\epsilon} = \frac{1}{c} = \frac{1}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 3,3 \times 10^{-9} \text{ s/m}$$

Ukuran dimensi dalam pandu gelombang silinder yang digunakan adalah jari-jari (a) 5,43 cm, tebal 0,25 cm dengan panjang 6 m. Ukuran ini sudah memenuhi syarat supaya gelombang dapat menjalar dalam pandu gelombang, baik untuk mode TE dimana $a > 4,78 \text{ cm}$ dan untuk mode TM dimana $a > 3,66 \text{ cm}$. Dimensi dimensi pandu gelombang silinder ditunjukkan pada Gambar 3.3.



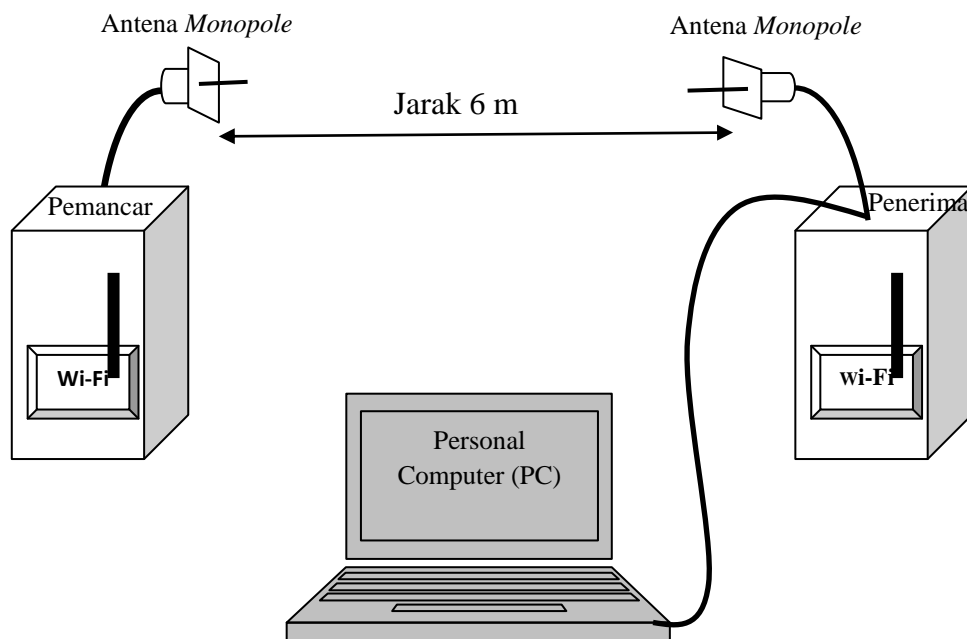
Gambar. 3.5 Dimensi Pandu Gelombang Silinder

3.4 Pengambilan Data

Sebelum melakukan pengukuran daya yang terbaca pada PC dari antenna penerima melalui pandu gelombang silinder kosong dan berisi dielektrik, terlebih dahulu mengukur besarnya daya yang terbaca pada PC dari antenna penerima tanpa adanya pandu gelombang. Langkah-langkah yang dilakukan pada pengukuran pertama dan kedua adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran Pertama

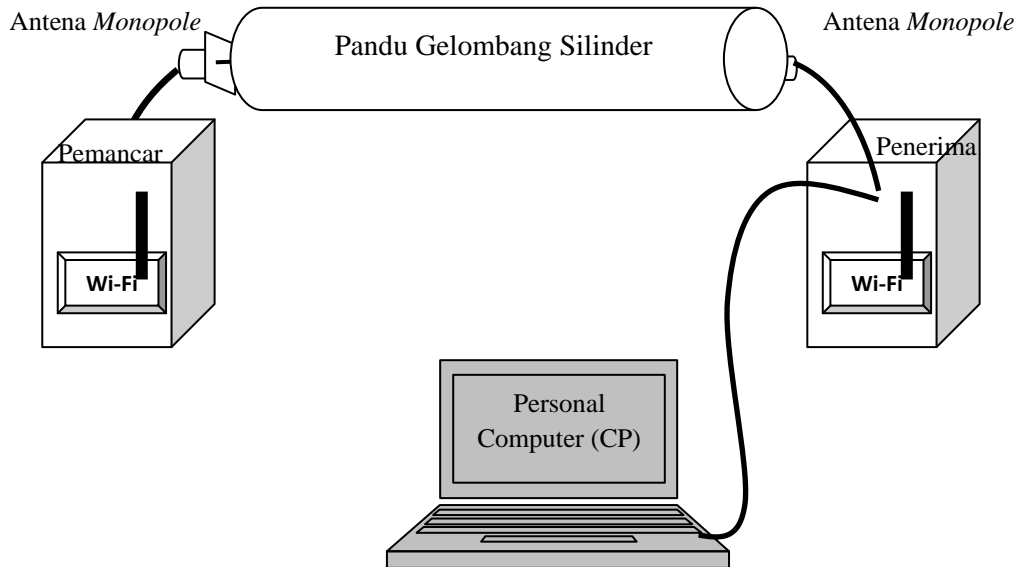
Dua antenna *monopole* dipisahkan pada jarak 6 m dan masing-masing antenna dihubungkan dengan *access point* yang berfungsi sebagai pemancar dan penerima melalui kabel konektor dan selanjutnya dihubungkan pada PC dan diperoleh hasil pengukuran berupa besarnya daya terima yang terbaca pada PC dari antenna penerima. Pengukuran dilakukan untuk masing-masing posisi antenna secara vertikal dan horisontal.



Gambar. 3.6. Skema Rangkaian Pengukuran Daya Terima Tanpa Pandu Gelombang

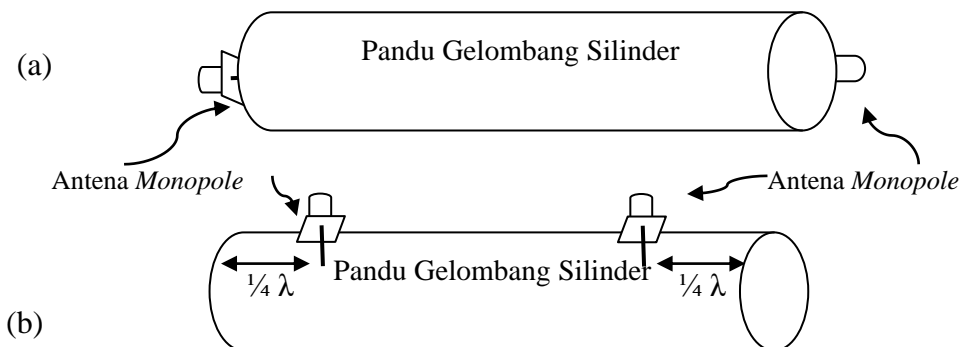
2. Pengukuran Kedua

Adapun rancangan alat yang akan digunakan pada pengukuran kedua ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut ini :



Gambar. 3.7 Skema Rangkaian Pengukuran Daya Terima Dengan Pandu Gelombang

Setelah merangkai alat secara sempurna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 diatas, selanjutnya dilakukan pengukuran berupa besar daya terima pada saat pandu gelombang sebelum diisi dielektrik dan setelah diisi dielektrik berupa air. Pada pengukuran kedua ini, terdapat variasi posisi titik feeding antenna, seperti yang ditunjukkan dari Gambar 3.5 berikut:



Gambar. 3.8. Posisi titik *feeding* antenna : (a). Posisi antenna *cross section* pipa
(b). Posisi antenna berjarak $\frac{1}{4} \lambda$ dari ujung pipa

3.5 Analisis Data Hasil Pengukuran

3.5.1 Analisis Data Hasil Pengukuran 1

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran 1 berupa besar daya terima pada saat tanpa adanya pandu gelombang baik dalam posisi horisontal maupun secara vertikal. Dari data ini diperoleh besar rugi daya berdasarkan hasil pengukuran melalui persamaan berikut

$$P_l = P_o - P_1 \quad (3.2)$$

dengan:

P_l = Rugi daya terima (dB)

P_o = Daya berdasarkan spesiikasi alat (100 dB)

P_1 = Daya berjarak 6 m (dB)

Selanjutnya menghitung besar atenuasi pengukuran melalui persamaan berikut

$$\alpha = \frac{P_l}{2 P_o} \quad (3.3)$$

Dimana α = Atenuasi pengukuran (dB)

P_o = Daya berjarak 10 cm dB

P_l = Rugi daya terima (dB) (Krauss 1982)

3.5.2 Analisis Data Hasil Pengukuran 2

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran 2 berupa besar daya terima pada saat adanya pandu gelombang tanpa dielektrik dan berisi dielektrik baik dalam posisi horisontal maupun secara vertikal. Dari data ini diperoleh besar rugi daya berdasarkan hasil pengukuran melalui persamaan berikut:

$$P_l = P_k - P_d \quad (3.4)$$

dengan:

P_l = Rugi daya terima (dB)

P_k = Daya tanpa dielektrik (dB)

P_d = Daya isi dielektrik (dB)

Setelah dilakukan pengolahan data, maka hasil pengukuran 1 dan pengukuran 2 ditampilkan dalam bentuk tabel rugi daya dan atenuasi hasil pengukuran berdasarkan posisi *feeding* antena dengan bantuan *software Mikrossoft Excel 2007*.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab 4 ini dilakukan analisis kemungkinan pemanfaatan pipa PDAM sebagai saluran transmisi WI-FI pada frekuensi 2,4 GHz: posisi *feeding* antenna *monopole* berdasarkan hasil pengukuran di laboratorium Optoelektronika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITS, Surabaya. Analisis meliputi fabrikasi antenna *monopole* dan pengukuran daya terima terbaik berdasarkan posisi *feeding* antenna *monopole* tanpa adanya pandu gelombang maupun di dalam pandu gelombang silinder kosong dan di dalam pandu gelombang berisi dielektrik. Frekuensi kerja yang digunakan dari antenna yang difabrikasi adalah 2,4 GHz. Frekuensi tersebut berdasarkan spesifikasi dari jenis WI-FI yang digunakan dalam pengukuran yaitu model TL- WA701ND.

4.1 Hasil Fabrikasi Antena *Monopole*

Pada penelitian ini telah difabrikasi antenna dengan desain yang dipaparkan di Bab 3. Berdasarkan desain yang telah dibuat, antenna *monopole* terdiri dari kawat tembaga dan konektor tipe N-*female* dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut:



(a)



(b)

Gambar 4.1 Antena *Monopole* (a) Tampak atas (b) Tampak samping

4.2 Hasil Pengukuran Daya Terima

4.2.1 Hasil Pengukuran 1

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran 1 berupa besar daya terima pada saat tanpa adanya pandu gelombang baik dalam posisi horisontal maupun secara vertikal dengan pengambilan data sebanyak 10 kali dan dicantumkan pada lampiran 1.

Dari data ini diperoleh besar rugi daya berdasarkan hasil pengukuran melalui persamaan 3.2 dengan nilai P_0 adalah 100 dB. Adapun perhitungan besar rugi daya untuk posisi antenna secara horisontal adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}P_l &= P_o - P_1 \\P_l &= 100 \text{ dB} - 51,2 \text{ dB} \\P_l &= 48,8 \text{ dB}\end{aligned}$$

Selanjutnya dapat dihitung besar atenuasi melalui persamaan 3.3 untuk posisi antenna secara horisontal adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{P_l}{2 P_0} \\ \alpha &= \frac{48,8}{2 (100)} \\ \alpha &= 0,24 \text{ dB}\end{aligned}$$

Untuk posisi vertikal dapat dihitung dengan cara yang sama seperti pada posisi horisontal dan secara keseluruhan ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rugi Daya dan Atenuasi Antena Berdasarkan Posisi *feeding* Tanpa Pandu Gelombang

Posisi	P0(dB)	P1(dB)	P loss(dB)	α (dB)
Horisontal	100	51,2	48,8	0,24
Vertikal	100	48,5	51,5	0,26

Berdasarkan Tabel 4.1 terlihat bahwa adanya rugi daya yang sangat besar dari hasil pengukuran. Untuk arah horisontal diperoleh rugi daya sebesar 48,8 dB sedangkan untuk arah vertikal sebesar 51,5 dB hal ini berbanding lurus dengan nilai atenuasi pengukuran yang diperoleh sebesar 0,24 dB untuk arah horisontal sedangkan untuk arah vertikal sebesar 0,26 dB. Besarnya nilai rugi daya dan atenuasi disebabkan karena pengukuran yang dilakukan bukan di ruangan khusus atau ruang anti gempa/pantulan gelombang sehingga memiliki gangguan yang sangat besar yang menyebabkan besarnya rugi daya dan atenuasi yang diperoleh. Selain itu ketidaktepatan dalam proses fabrikasi antena *monopole* yang menyebabkan tidak maksimalnya fungsi kerja dari antena itu sendiri.

4.2.2 Hasil Pengukuran 2

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran 2 berupa besar daya terima antena posisi horisontal dan vertikal pada saat adanya pandu gelombang kosong dan pada saat berisi dielektrik dengan pengambilan data sebanyak 10 kali dan dicantumkan pada Lampiran 2.

Dari data ini diperoleh besar rugi daya berdasarkan hasil pengukuran melalui persamaan 3.2. Adapun perhitungan besar rugi daya dielektrik untuk posisi antena secara horisontal adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_l &= P_k - P_d \\ P_l &= 71,8 \text{ dB} - 20,9 \text{ dB} \\ P_l &= 50,9 \text{ dB} \end{aligned}$$

Selanjutnya dapat dihitung besar atenuasi dielektrik melalui persamaan 3.3 untuk posisi antena secara horisontal adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \alpha_d &= \frac{P_l}{2 P_0} \\ \alpha_d &= \frac{50,9}{2 (72,7)} \\ \alpha_d &= 0,35 \text{ dB} \end{aligned}$$

Untuk posisi vertikal dapat dihitung dengan cara yang sama seperti pada posisi horisontal dan secara keseluruhan ditampilkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rugi Daya dan Atenuasi Dielektrik Antena Berdasarkan Posisi *feeding* dengan Pandu Gelombang

Posisi	P _k (dB)	P _d (dB)	P _{loss} (dB)	α_d (dB)
Horisontal	71,8	20,9	50,9	0,35
Vertikal	78,5	42,2	36,3	0,26

Berdasarkan Tabel 4.2 terlihat bahwa adanya rugi daya yang sangat besar dari pengukuran ini. Untuk arah horisontal menghasilkan rugi daya dielektrik sebesar 50,9 dB sedangkan untuk arah vertikal sebesar 36,3 dB, hal ini berbanding lurus dengan nilai atenuasi pengukuran dielektrik yang diperoleh sebesar 0,35 dB untuk horisontal sedangkan untuk arah vertikal sebesar 0,26 dB. Besarnya nilai rugi daya dan atenuasi disebabkan dari pengisian bahan dielektrik berupa air di dalam pandu gelombang yang menyebabkan adanya redaman perambatan gelombang elektromagnetik. Seperti diketahui bahwa perambatan gelombang elektromagnetik sangat baik diruang hampa udara dibandingkan perambatan didalam dielektrik disebabkan karena adanya redaman dari dielektrik itu sendiri. Daya yang dikirimkan sumber sinyal sebagian mengalami redaman. Ketika terjadi perambatan gelombang elektromagnetik, maka struktur atom dari bahan dielektrik akan mengalami perubahan dan perubahan ini membutuhkan energi. Energi inilah yang mengakibatkan timbulnya rugi-rugi daya. Semakin sulit struktur atom suatu bahan dielektrik berubah maka semakin besar energi yang dibutuhkannya, yang berarti semakin besar rugi daya yang disebabkan. Demikian halnya yang terjadi pada pengukuran kedua ini, struktur atom dari air yang digunakan sebagai bahan dielektrik menghalangi perambatan gelombang elektromagnetik sehingga besarnya daya terima pada antena mengalami penurunan.

Ketika ditinjau besar daya terima terbaik berdasarkan posisi *feeding* antena, baik secara vertikal maupun horisontal pada pengukuran kedua, terlihat bahwa posisi vertikal lebih baik dibandingkan posisi horisontal. Hal ini bersesuaian dengan teori pola radiasi yang menyatakan bahwa arus listrik dalam suatu antena selalu dikelilingi oleh medan magnetis. Arus listrik bolak balik (*alternating current*) menyebabkan muatan-muatan listrik bebas dalam antena akan mendapat percepatan, sehingga timbul suatu medan elektromagnetik. Medan elektromagnetik tersebut bolak-balik akan berjalan menjauhi antena dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Dan ketika posisi antena pemancar dan penerima dalam keadaan sama-sama vertikal maka gelombang elektromagnetik yang menjalar akan saling menguatkan sehingga menyebabkan besarnya nilai daya terima/sinyal yang diperoleh.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil difabrikasi antenna *monopole* dengan menggunakan konektor tipe N- *female* dan kawat tembaga. Dimensi ukuran kawat dengan panjang 3,12 cm dan diameter 2,25 mm. Secara detail, penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil pengukuran dan fabrikasi antenna *monopole* untuk pengukuran daya terima antenna tanpa pandu gelombang sebesar 48,5 dB untuk arah vertikal dan 51,2 dB untuk arah horisontal.
2. Untuk pengukuran daya terima antenna menggunakan pandu gelombang tanpa dielektrik sebesar 78,5 dB untuk arah vertikal dan 71,8 dB untuk arah horisontal sedangkan pengukuran daya terima antenna menggunakan pandu gelombang berisi dielektrik sebesar 42,2dB untuk arah vertikal dan 20,9 dB untuk arah horisontal.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa prototype pipa PDAM dapat diaplikasikan sebagai saluran transmisi *Wi-Fi* dengan posisi *feeding* antenna *monopole* secara vertikal. Hal ini berdasarkan nilai daya terima yang lebih besar ketika menggunakan pandu gelombang silindrik berisi dielektrik pada posisi *feeding* antenna *monopole* secara vertikal dibandingkan secara horisontal. Hasil pengukuran terkait dengan posisis *feeding* terbaik telah bersesuaian dengan teori pola radiasi.

5.2 Saran

1. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan diameter dan panjang pipa serta jenis antenna yang digunakan.
2. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan membuat program untuk mensimulasikan penelitian yang sudah dilakukan pada tesis ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Alaydrus M, 2011, *Antena Prinsip&Aplikasinya*, Yogyakarta: Graha Ilmu, Inc.,
- Alaydrus M, 2009, *Saluran Transmisi Telekomunikasi*, Yogyakarta: Graha Ilmu, Inc.,
- Amrullah YS, Setiadi E, Hendrantoro G, 2012, *Desain Antena Monopole UHF untuk Uplink pada Satelit Linusat-02*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, ITS, Surabaya.
- Balanis, Consrine A, 1997, *Antenna Theory Analysis And Design*, Canada: John Willey & Sons.
- Balemurli (2010), *Perancangan Antena Mikrostrip Patch Sirkular Untuk Aplikasi WLAN Menggunakan Simulator ANSOFT HFSS V10*, Skripsi Sarjana Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Dimas PS, 2008. *Perencanaan Jaringan Pipa Utama PDAM Kabupaten Kendal*.
- Fadlillah, U. (2004), "Simulasi Pola Radiasi Antena Dipole Tunggal", *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer Emitter*, Vol.4, No.2.
- Hasan M, Setiadi E, Gamantyo H, 2012, *Desain Antena Helix dan Loop pada Frekuensi 2.4 GHz dan 430 MHz untuk Perangkat Ground Station Satelit Nano*, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, ITS, Surabaya.
- Hidayah, Ifa, 2009, *Desain dan Fabrikasi Antena BI-HORN dengan Dua Arah Radiasi dan Satu Feeding Monopole untuk Komunikasi WI-FI*, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITS, Surabaya.
- Hund, E, 1989, *Microave Communications Component and Circuit*, Mc Graw-Hill, New York.
- Kraus, J. D, 1982, *Electromagnetics*, Second Edition. McGraw Hill, New York.
- Liao, Samuel, Y, 1988, *Engineering Application of Electromagnetic Theory*. California State University, Fresno. United States of America.
- M. A. Al-Alaa, H. A. Elsadek, and E. A. Abdallah, 2014 "Compact multi-band frequency reconfigurable planar monopole antenna for several wireless communication applications," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–25,

Sianturi, S. (2010), *Analisis Karakteristik Saluran Transmisi Circular Waveguide*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.

Website.http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html, diakses 7 Maret 2014

Website.http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417_.html, diakses 20 September 2014.

Website. http://id.wikipedia.org/wiki/PDAM_.html, diakses 5 Februari 2015.

Website. https://id.wikipedia.org/wiki/Sangkar_Faraday_.html, diakses 16 Juni

Lampiran 1

Tabel 4.1 Daya Terima Antena Tanpa Pandu Gelombang

Menit	Daya Terima P_1 (dB)	
	Horisontal	Vertikal
1	51	48
2	50	49
3	52	47
4	52	49
5	51	49
6	51	49
7	51	48
8	51	49
9	52	49
10	51	48
Rerata	51,2	48,5

Rugi daya posisi antena horisontal

$$\begin{aligned}P_l &= P_o - P_1 \\P_l &= 100 \text{ dB} - 51,2 \text{ dB} \\P_l &= 48,8 \text{ dB}\end{aligned}$$

Atenuasi posisi antena horisontal

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{P_l}{2 P_o} \\ \alpha &= \frac{48,8}{2 (100)} \\ \alpha &= 0,24 \text{ dB}\end{aligned}$$

Rugi daya posisi antena vertikal

$$\begin{aligned}P_l &= P_o - P_1 \\P_l &= 100 \text{ dB} - 48,5 \text{ dB} \\P_l &= 51,5 \text{ dB}\end{aligned}$$

Atenuasi posisi antenna vertikal

$$\alpha = \frac{P_l}{2 P_0}$$

$$\alpha = \frac{51,5}{2 (100)}$$

$$\alpha = 0,26 \text{ dB}$$

Tabel 4.1 Rugi Daya dan Atenuasi Antena Berdasarkan Posisi *feeding* Tanpa Pandu Gelombang

Posisi	P0(dB)	P1(dB)	P loss(dB)	α (dB)
Horisontal	100	51,2	48,8	0,24
Vertikal	100	48,5	51,5	0,26

Lampiran 2

Tabel 4.3 Daya Terima Antena dengan posisi *feeding* Antena secara Horisontal dengan Pandu Gelombang

Menit	Daya Terima Horisontal (dB)	
	Kosongan Pk	Dielektrik Pd
1	71	22
2	72	21
3	72	21
4	72	21
5	72	20
6	72	21
7	71	20
8	72	21
9	72	21
10	72	21
Rerata	71,8	20,9

Rugi daya dielektrik posisi antena horisontal

$$P_l = P_k - P_d$$

$$P_l = 71,8 \text{ dB} - 20,9 \text{ dB}$$

$$P_l = 50,9 \text{ dB}$$

Atenuasi dielektrik posisi antena horisontal

$$\alpha_d = \frac{P_l}{2 P_0}$$

$$\alpha_d = \frac{50,9}{2 (72,7)}$$

$$\alpha_d = 0,35 \text{ dB}$$

Tabel 4.4 Daya Terima Antena dengan posisi *feeding* Antena Vertikal Dengan Pandu Gelombang

Menit	Daya Terima Vertikal (dB)	
	Kosongan Pk	Dielektrik Pd
1	79	42
2	78	42
3	78	42
4	78	43
5	78	42
6	79	42
7	79	42
8	79	42
9	79	43
10	78	42
Rerata	78,5	42,2

Rugi daya dielektrik posisi antena vertikal

$$P_l = P_k - P_d$$

$$P_l = 78,5 \text{ dB} - 42,2 \text{ dB}$$

$$P_l = 36,3 \text{ dB}$$

Atenuasi dielektrik posisi antena vertikal

$$\alpha_d = \frac{P_l}{2 P_0}$$

$$\alpha_d = \frac{36,3}{2 (67,7)}$$

$$\alpha_d = 0,26 \text{ dB}$$

Tabel 4.2 Rugi Daya dan Atenuasi Dielektrik Antena Berdasarkan Posisi *feeding* dengan Pandu Gelombang

Posisi	P _k (dB)	P _d (dB)	P _{loss} (dB)	α_d (dB)
Horisontal	71,8	20,9	50,9	0,35
Vertikal	78,5	42,2	36,3	0,26

Lampiran 3

Frekuensi *cutt-off* mode TE₁₁

$$f_c^{TE_{11}} = \frac{X'_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}}$$

$$f_c^{TE_{11}} = \frac{1,8412(3 \times 10^8 \frac{m}{s})}{2(3,14)a}$$

$$f_c^{TE_{11}} = \frac{552360000}{6,28 a}$$

$$f_c^{TE_{11}} = \frac{552360000}{6,28 (0,0534)}$$

$$f_c^{TE_{11}} = \frac{552360000}{0,341004}$$

$$f_c^{TE_{11}} = 1.619.805.046 \text{ Hz}$$

$$f_c^{TE_{11}} = 1,61 \text{ GHz}$$

Frekuensi *cutt-off* mode TM₀₁

$$f_c^{TM_{01}} = \frac{X_{mn}}{2\pi a \sqrt{\mu\epsilon}}$$

$$f_c^{TM_{01}} = \frac{2,4049(3 \times 10^8 \frac{m}{s})}{2(3,14)a}$$

$$f_c^{TM_{01}} = \frac{721470000}{6,28 a}$$

$$f_c^{TM_{01}} = \frac{721470000}{6,28(0,0543)}$$

$$f_c^{TM_{01}} = \frac{721470000}{0,341004}$$

$$f_c^{TM_{01}} = 2.115.722.983 \text{ Hz}$$

$$f_c^{TM_{01}} = 2,11 \text{ GHz}$$

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama **Andi Srirahayu**, anak ke lima dari pasangan Andi Muh. Ali dan Andi Maryam ini dilahirkan di Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan pada tanggal 30 Desember 1988. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi Maroangin, SD INP 10/73 Sibulue, SMP Negeri 1 Cina, SMA Negeri 1 Cina, S1 Pendidikan Fisika UNM (Universitas Negeri Makassar) angkatan 2007 dan melanjutkan studi S2 melalui Beasiswa Pra S2-Saintek 2012 dan BPPDN di Pascasarjana Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember angkatan 2013 dengan NRP 1113201045 dan mengambil bidang minat Optoelektronika. Selama menempuh jenjang pendidikan S1 penulis aktif dibidang penelitian dan tergabung diorganisasi internal kampus yaitu LPM (Lembaga Peneliti Mahasiswa) PENALARAN UNM yang menghasilkan beberapa karya ilmiah melalui program PKM dan lombakarya ilmiah lainnya. Selain itu penulis juga pernah menjadi tenaga pengajar di salah satu bimbingan belajar di kota makassar dan di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) di Kabupaten Bone. Selama menempuh jenjang pendidikan S2 penulis telah menghasilkan beberapa karya ilmiah yang telah diseminarkan pada forum nasional dan internasional. Akhir kata apabila ada kritik dan saran, dapat dikirimkan ke: andisrirahayu21@gmail.com atau andisriahayu@yahoo.com